

ROMAN KUBICZEK

Kuchta Genehyk Polon - PAW

ZBOŻA JAKO ŹRÓDŁO BIAŁKA

Skierma
Udział zbóż w żywieniu człowieka

Zboża i produkty zbożowe dostarczają ludzkości 30 do 90% całkowitej energii czerpanej z pożywienia i są głównym źródłem karmy dla inwentarza żywego (Janicki, 1965). Zboża dostarczają równocześnie ludności świata największą ilość białka w porównaniu z innymi produktami spożywczymi. W 1967 roku sama pszenica i ryż dostarczyły ponad 70 mln ton białka, tj. w przybliżeniu 20 kg białka rocznie na człowieka lub 55 g białka dziennie.

Światowa produkcja mięsa (częściowo z drobiem) jest oceniana na 104,7 mln ton w 1968 roku, co reprezentuje około 19 mln ton białka rocznie.

Światowa produkcja mleka jest rzędu 360 mln ton, co daje około 11 mln ton białka.

Tak więc i produkcja mięsa i mleka pod względem białkowym, mimo wyższej biologicznej wartości białek pochodzenia zwierzęcego, znacznie ustępują pozycji zajmowanej przez rośliny uprawne, nawet przez same zboża chlebowe.

Światowa produkcja ważniejszych zbóż jest przedstawiona w tabeli 1.

Tabela 1

*Produkcja światowa ważniejszych zbóż w latach 1965—1969 w mln ton
(wg Rocznika Statystycznego GUS 1970)*

Zboże	1965 r.	1966 r.	1967 r.	1968 r.	1969 r.
Pszenica	265,4	308,2	298,8	332,6	312,2
Zyto	35,5	30,9	31,5	33,5	29,0
Jęczmień	104,7	115,8	119,2	130,6	139,1
Owies	46,9	48,6	50,8	54,2	55,8
Kukurydza	226,4	240,2	264,4	251,4	263,7
Ryż	253,7	253,2	276,2	283,9	294,7

Dane zawarte w tabeli 1 wskazują, że w skali światowej następuje ciągły wzrost produkcji zbóż. Najwyższy przyrost obserwujemy w przypadku jęczmienia (32,8% w roku 1969 w stosunku do roku 1965), nieco niższy dla owsa (18,9%), pszenicy (17,6%), kukurydzy (16,4%) i ryżu (16,1%).

Największe wahania występują w produkcji żyta i produkuje się go najmniej. W skali światowej areal uprawy żyta skurczył się znacznie (od 1939 roku do 1962 roku z 38,7 mln hektarów do 28,6 mln ha). W ostatnich jednak latach obserwuje się stabilizację arealu uprawy żyta, a w krajach o dużych tradycjach związanych z uprawą żyta nawet jego wzrost (Finlandia, Szwecja).

W Polsce obszar przeznaczony pod uprawę żyta przewyższa trzy i półkrotnie obszar pod uprawę pszenicy i wynosi 56% ogólnego arealu uprawnego czterech zbóż (Janicki 1965). Produkcję rolniczą zbóż chlebowych w Polsce w przeliczeniu na głowę mieszkańca przedstawia tabela 2. Z tabeli tej wynika, że wielkość produkcji pszenicy rosła szybciej w ostatnich latach niż produkcja żyta (w latach 1964 do 1969 wzrost produkcji pszenicy 48,5%, żyta 11,5%).

Tabela 2

Produkcja rolnicza w indywidualnych i uspołecznionych gospodarstwach rolniczych w Polsce w latach 1964–1969 w przeliczeniu na 1 mieszkańca w kg
(wg Rocznika Statystycznego GUS 1970)

Wyszczególnienie	1964 r.	1965 r.	1966 r.	1967 r.	1968 r.	1969 r.
Cztery zboża razem	433	491	480	490	536	549
w tym:						
pszenica	97,6	106	112	121	141	145
żyto	224	260	242	239	261	250

Polska zajmuje drugie miejsce w świecie po Związku Radzieckim w produkcji żyta, ze zbiorami 8166 tys. ton w 1969 roku. Jedynie wysokość plonów żyta uzyskiwana w Polsce i wynosząca około 20 q/ha jest niezadowalająca wobec 30–33 q/ha uzyskiwanych w Holandii, NRF, Austrii i Szwecji. Jest więc u nas pod tym względem dużo do zrobienia.

Jest około 40 składników pokarmowych niezbędnych dla prawidłowego żywienia człowieka i w tym osiem do dziesięciu aminokwasów, co najmniej jeden lub więcej cukrowców, jeden do dwóch nienasyconych kwasów tłuszczowych, trzynaście lub więcej składników mineralnych, piętnaście lub więcej witamin (Szczygieł 1956). W skali światowej naj-

większy niedobór z powyższych składników pokarmowych odczuwa się w stosunku do aminokwasów, czyli w stosunku do białka.

Najbogatszym źródłem roślinnym białek są orzechy i suche nasiona roślin strączkowych. Produkty te zaspokajają pokaźną część zapotrzebowania na białko ludności Dalekiego Wschodu. W Polsce, wskutek przyzwyczajenia do spożywania dużych ilości chleba, głównym źródłem białka roślinnego są zboża chlebowe.

Zawartość substancji azotowych w ziarniakach zbóż zależy od gatunku, pochodzenia czyli rejonu klimatycznego, warunków uprawy oraz od właściwości odmianowych. Żyto zawiera od 9% do 11% białka, rzadziej do prawie 15% (żyta rosyjskie), pszenica od 11% do 17% białka. Zarówno pszenica, jak i żyto pochodzące z rejonów o klimacie kontynentalnym zawierają więcej białka, niż pochodzące z rejonów o klimacie umiarkowanym lub morskim. Pszenice jare wykazują zwykle więcej białka niż ozime. Nawet w poszczególnych ziarnach kłosa różnice zawartości białka dochodzą nieraz do 5—7% (Jankowski 1967).

W celu zmniejszenia istniejącego deficytu białkowego produktów żywnościowych rozpoczęto zakrojone na szeroką skalę poszukiwania odmian zbóż o najwyższej zawartości białka.

Musimy jednak zdać sobie sprawę z tego, że poszukiwania te nie mogą iść wyłącznie w kierunku ilościowym, ale również i w kierunku jakościowym, bowiem równie ważnym, jeśli nie ważniejszym problemem co zawartość ogólna substancji białkowych w roślinie, jest ich wartość biologiczna, czyli ich realna zdolność zaspokojenia potrzeb człowieka na ten składnik żywnościowy.

Białko i jego budowa

Białko jest podstawowym składnikiem organizmów żywych, jedyłą formą połączeń azotowych mogących pokryć zapotrzebowanie azotowe ustroju. Cząsteczka białka składa się z poskręcanych w różnych płaszczyznach łańcuchów polipeptydowych, które z kolei zbudowane są z szeregu aminokwasów ustawionych w ściśle określonej kolejności i połączonych między sobą wiązaniami peptydowymi.

Genetyczny plan budowy białka jest zaszyfrowany w kwasie dezoksyrybonukleinowym (DNA) stanowiącym główną część chromosomów umieszczonych w jądrze komórkowym. Informacja genetyczna zostaje przeniesiona na białko przez kwas rybonukleinowy informacyjny (m — RNA¹), który syntetyzowany jest na wzór DNA jądrowego, a na-

¹) Skrót nazwy od angielskiego „messenger” RNA

stepnie ułożony na powierzchni rybosomu — miejscu syntezy białka w komórce. Aminokwasy transportowane przez kwas rybonukleinowy cytoplazmatyczny (s — RNA²) są umieszczane w odpowiednim miejscu kwasu rybonukleinowego informacyjnego na rybosomie. W ten sposób odpowiednio uszeregowane i zaktywowane przez kwas adenozyntroójfosforowy (ATP) aminokwasy, mogą połączyć się w peptydy i następnie w łańcuch białkowy, przy czym transportujący aminokwasy s-RNA zostaje uwolniony. Cały łańcuch białkowy jest syntetyzowany od razu, nie jak dawniej przypuszczano poprzez różne polipeptydy. Gotowy łańcuch białkowy odrywa się od rybosomu i przechodzi do cytoplazmy (Watson, 1963). Następnym etapem biosyntezy białka jest powstawanie struktur przestrzennych polegających na zwinięciu prostoliniowego łańcucha w spirale i pofałdowaniu spirali. Struktury te są stabilizowane różnymi rodzajami wiązań, jak dużą ilością wiązań wodorowych (tworzących się na skutek powinowactwa atomów wodoru do elektroujemnych atomów jak tlenu czy azotu), wiązaniami jonowymi (pomiędzy grupami kwasowymi i zasadowymi aminokwasów), wiązaniami estrowymi lub tioestrowymi (pomiędzy grupą karboksylową i hydroksylową lub tiolową aminokwasów), wiązaniami dwusiarczkowymi między dwiema grupami tiolowymi, a ponadto wiązaniami chelatowymi lub typu sił Van der Waalsa czy kohezji.

Łańcuch polipeptydowy zbudowany sponad stu aminokwasów zalicza się już do białek (wyjątek stanowi białko insulina o 51 aminokwasach). Pewna grupa białek zawiera w swej cząsteczce obok aminokwasów dodatkowo składnik niebiałkowy. Ten fakt jest podstawą podziału białek na proste i złożone. Inny sposób klasyfikacji białek jest oparty na kształcie ich cząsteczek. Zgodnie z tym podziałem wyróżnia się białka włókienkowe, czyli fibrylarne albo skleroproteidy oraz białka sferyczne, czyli globularne albo sferoproteidy.

Właściwości białek zależą od ilości aminokwasów związanych w łańcuch, ich charakteru oraz kolejności występowania w tym łańcuchu czyli tzw. sekwencji aminokwasów, która, jak wspominaliśmy, jest ustalona genetycznie dla każdego rodzaju białka.

Aminokwasów białkowych, tzn. powszechnie wchodzących w skład substancji białkowych, jest osiemnaście (nie licząc amidów kwasu asparaginowego i glutaminowego).

Jednym z kryteriów podziału aminokwasów jest zdolność organizmów zwierzęcych i człowieka do syntezy niektórych tylko aminokwasów i brak tej możliwości w stosunku do innych. Podział ten ma znaczenie przede

²) Skrót nazwy od angielskiego „soluble” RNA

wszystkim fizjologiczne i żywieniowe. Aminokwasy, które mogą być wytwarzane w organizmie zwierzęcym, np. na drodze przeniesienia grupy aminowej $-NH_2$ z kwasu glutaminowego na rozmaite ketokwasy, są zwane endogennymi, natomiast pozostałe, które muszą być dostarczane w gotowej formie organizmowi, nazywane są egzogennymi.

Lista aminokwasów egzogennych wykazuje pewne różnice w zależności od gatunku zwierzęcia. Dla człowieka aminokwasami egzogennymi są: walina, leucyna, izoleucyna, lizyna, metionina, treonina, fenyloalanina, tryptofan, tyrozyna. Jak wynika z tego zestawienia, organizm ludzki nie jest w stanie wytwarzać łańcucha węglowego rozgałęzionego i rdzenia aromatycznego oraz przekształcać β — aspartylofosforanu w kwas L — α — amino — β — formylopropionowy, od którego biogenetycznie wywodzą się aminokwasy lizyna, metionina, treonina (Karlson 1967).

Tyrozyna jest często określana jako aminokwas względnie egzogeny, gdyż może być syntetyzowana w organizmie ludzkim przez hydroksylację fenyloalaniny, jeśli ten aminokwas występuje w tkance w dostatecznej ilości.

Znaczenie białka w żywieniu człowieka

Znaczny, nie wyrównany przez ustrój nadmiar względnie niedobór jednego nawet z aminokwasów egzogennych lub grupy aminokwasów prowadzić może do znacznych zaburzeń w biosyntezie białka ustrojowego. Badania ostatnich lat wykazują, że diety wysokobiałkowe o prawidłowym układzie aminokwasów powodują wcześniejsze dojrzewanie funkcji biochemicznych ustroju (Bogdanowicz, 1968). Nie jest więc przypadkiem, że właśnie zagadnieniu aminokwasów w diecie poświęca się obecnie tak wiele uwagi i że podejmuje się wiele badań w poszukiwaniu idealnego aminogramu białek pokarmowych.

Weisman (1965) dzieli aminokwasy na podstawowe, półpodstawowe i niepodstawowe i wyjaśnia ich rolę w organizmie.

Do podstawowych należą:

h i s t y d y n a — jest ona prekursorem histaminy.

l e u c y n a — jest prekursorem metabolitów biorących udział w syntezie sterydów,

i z o l e u c y n a, *W a l i n a*, *L i z y n a* — są szeroko rozpowszechnione w białkach, ale ich szczegółowa rola nie jest znana,

m e t i o n i n a — jest dawcą grup metylowych, bierze udział w syntezie różnych niebiałkowych substancji biologicznie czynnych np. choliny,

fenyloalanina — jest prekursorem adrenaliny, tyroksyny i tyrozyny,

tryptofan — jest prekursorem amidu kwasu nikotynowego, czyli witaminy PP.

Do aminokwasów półpodstawowych należą:

arginina — bierze udział w syntezie mocznika,

cystyna — zawiera grupy —SH stanowiące integralną część wielu enzymów, hormonów i innych związków biologicznie czynnych jak np. insulina, glutation, hemoglobina;

glicyna — jest niezbędna dla syntezy kwasów nukleinowych;

tyrozyna — może zmniejszyć zapotrzebowanie na fenyloalaninę, bierze udział w biosyntezie tyroksyny.

Do aminokwasów niepodstawowych należą:

kwas asparaginowy — jest prekursorem kwasów nukleinowych;

alanina — jest pomostem pomiędzy metabolizmem aminokwasów i węglowodanów;

kwas glutaminowy — bierze udział w wiązaniu amoniaku, odgrywa ważną rolę w przemianach ośrodkowego układu nerwowego;

prolina, hydroksyprolina — są włączone w syntezę kollagenu;

seryna — jest włączona w syntezę lipidów.

O tym, że zagadnienie odpowiedniego składu aminokwasowego białek jest zagadnieniem o dużym znaczeniu, może świadczyć między innymi fakt podania przez FAO tzw. wzorcowego składu podstawowych aminokwasów. Opiera się on na odpowiednim stosunku poszczególnych aminokwasów podstawowych do treoniny. Podobny stosunek tych aminokwasów do układu przyjętego przez FAO stwierdza się w białkach najbardziej wartościowych (białku mleka kobycego i jaja kurzego). Jedynie tryptofanu jest w nich trochę mniej. Powyższe układy aminokwasów w białkach mleka kobycego, jaja kurzego i we wzorcowym wg FAO podano w tabeli 3.

Na podstawie dotychczasowych badań przyjmuje się różne zapotrzebowania na poszczególne aminokwasy egzogenne. Dane te należy przyjmować jako wartości orientacyjne, które często trzeba indywidualnie zwiększać lub zmniejszać. Zapotrzebowanie np. człowieka na aminokwasy egzogenne zmienia się (ściślej maleje) wraz ze starzeniem się organizmu. Dane dotyczące tego zagadnienia zawarte są w tabeli 4.

Zapotrzebowanie dzieci, a szczególnie niemowląt na białko przekracza dwa do dwu- i półkrotnie (w przeliczeniu na 1 kg ciała) zapotrzebowanie ludzi dorosłych (Bogdanowicz, 1968). Uwzględnienie tego faktu ma ogromne znaczenie w układzie diet w poszczególnych fazach rozwoju ustroju ludzkiego.

Tabela 3

Układy aminokwasów w mleku kobiecym, jajach i we wzorcowym układzie FAO, ustalone w stosunku do treoniny (wg Bogdanowicza, 1968)

Aminokwas	Mleko kobiece	Jajo	Układ wzorcowy FAO
Arginina	0,9	1,2	—
Histydyna	0,5	0,5	—
Izoleucyna	1,2	1,3	1,5
Leucyna	2,0	1,8	1,7
Lizyna	1,4	1,5	1,5
Fenylalanina	1,0	1,2	1,0
Tyrozyna	1,1	0,6	1,0
Aminokwasy aromatyczne	2,1	1,8	2,0
Cystyna	0,4	0,6	0,7
Metionina	0,5	0,9	0,8
Aminokwasy siarkowe	0,9	1,5	1,5
Tryptofan	0,36	0,24	0,5
Walina	1,4	1,5	1,5
Treonina	1,0	1,0	1,0

Tabela 4

Zapotrzebowanie człowieka na aminokwasy egzogenne w różnym wieku w mg/kg ciała na dobę (wg Bogdanowicza, 1968)

Aminokwas	Niemowlęta	Dzieci w wieku szkolnym	Dorośli
Histydyna	34	—	—
Izoleucyna	119	30	7,8
Leucyna	150	45	8,5
Lizyna	103	60	6,1
Metionina	45	27	3,9
Fenylalanina	90	27	3,7
Treonina	87	35	5,0
Tryptofan	22	7,4	2,5
Walina	105	33	9,0

Wartość biologiczna białek

Wartość biologiczna białek, to inaczej wartość odżywcza białek (Szczygieł, 1956).

Istnieje wiele metod oznaczania wartości odżywczej białek. Opierają się one na różnych zasadach, a przede wszystkim na oznaczaniu:

- 1) bilansu azotowego;

- 2) przyrostu wagi zwierząt w przeliczeniu na 1 g spożytego białka;
- 3) przydatności białek pożywienia do regeneracji białek, narządów i krwi organizmów zwierzęcych;
- 4) wartości białek dla utrzymania równowagi azotowej po wywołaniu głodu białkowego;
- 5) bilansu składu aminokwasowego białka i określeniu wartości biologicznej białka na tej podstawie.

W pierwszych czterech metodach biologicznych do oznaczeń używane są zwierzęta doświadczalne. Praktyczna wartość tych badań, których wynikiem są różne współczynniki obliczone za pomocą bilansów, jest nieco ograniczona, bowiem wyniki odnoszą się do danego gatunku zwierząt użytych w doświadczeniach, a różnią się one, nawet w obrębie jednego gatunku, dla zwierząt dorosłych i młodych albo samic ciężarnych lub karmiących. Z powyższych względów najbardziej interesująca jest dla nas metoda piąta, chemiczna. W metodzie tej przyjmuje się, że skład aminokwasowy białek całego jaja kurzego jest najbardziej zbliżony do optymalnego dla człowieka i że odpowiednia ilość tego produktu pokrywa w 100% zapotrzebowanie człowieka na aminokwasy egzogenne. Wartość odżywcza innych białek lub ich mieszanin określa się na podstawie porównania ich składu aminokwasowego do składu białek całego jaja, dla którego zawartości poszczególnych aminokwasów przyjmujemy za 100%.

Przykładowo: zawartość lizyny w białku całego jaja wynoszącą 7,2% przyjmujemy za 100%, w ziarniakach pszenicy zawartość 2,7% stanowi $\frac{2,7 \cdot 100}{7,2} = 37\%$. W porównaniu z białkami jaja kurzego białka pszenicznych ziarniaków wykazują więc deficyt lizyny $100 - 37 = 63\%$. Liczbę określającą deficyt któregoś z aminokwasów podaje się ze znakiem minus. W przypadku, gdy zawartość jakiegoś aminokwasu w porównaniu z białkiem jaja przewyższa 100%, wtedy wartość ponad 100 pisze się ze znakiem plus.

Najwyższa liczba ze znakiem minus świadczy, że reprezentujący ją aminokwas decyduje o niższej wartości odżywczej danego białka w porównaniu z białkiem jaja kurzego. Aminokwas ten zwany jest ograniczającym (Szczygieł, 1956).

Przykładowe obliczenia wg powyższego schematu dla białek ziarniaków pszenicy, kukurydzy i płatków owsianych podane są w tabeli 5.

Po dodaniu do produktu odpowiedniej ilości aminokwasu ograniczającego — wartość biologiczna białka będzie zależeć od następnej najwyższej liczby ze znakiem ujemnym. W przypadku białej mąki pszennej po uzu-

pełnieniu niedoboru lizyny ograniczającym aminokwasem będzie metionina.

W praktyce przy obliczaniu wartości biologicznych białek wg powyższej metody stosuje się tablice z bezwzględną zawartością aminokwasów w danym produkcie i przelicza za pomocą reguły trzech. Otrzymuje się wtedy wszystkie wartości dodatnie, a aminokwasem ograniczającym jest ten, do którego odnosząca się liczba jest najmniejsza (Szczygieł, 1956).

Tabela 5

Procentowe odchylenia zawartości niezbędnych aminokwasów w niektórych zbożach od zawartości aminokwasów w białku całego jaja przyjętego za wzorzec (wg Szczygła, 1956)

Aminokwas	Zawartość w jaju w ‰	Pszenica (ziarniaki)	Płatki owsiane	Kukurydza (ziarniaki)
Arginina	6,4	—34	— 6	— 25
Histydyna	2,1	0	+ 5	— 5
Lizyna	7,2	—63	—54	— 72
Tyrozyna	4,5	— 2	+ 2	+ 22
Tryptofan	1,5	—20	—20	— 47
Fenylalanina	6,3	—10	+ 5	— 21
Cystyna	2,4	—25	—25	— 37
Metionina	4,1	—39	—41	— 24
Cystyna + Metionina	6,5	—34	—35	— 29
Treonina	4,9	—33	—29	— 24
Leucyna	9,2	—26	—16	+139
Izoleucyna	8,0	—55	—30	— 50
Walina	7,3	—38	—14	— 32
Aminokwas ograniczający	—	Lizyna	Lizyna	Lizyna

Ustalono również wzór do obliczania współczynnika, tzw. EAAI*), służącego do określania wartości biologicznej danego białka również przez porównanie zawartości poszczególnych aminokwasów w tym białku z ich zawartością w białku całego jaja kurzego (Oser 1951).

Przedstawia się on następująco:

*) EAAI z angielskiego Essential Amino Acids Index.

$$EAAI = \sqrt[n]{\left(\frac{\text{Liz p}}{\text{Liz s}}\right) \cdot \left(\frac{\text{Try p}}{\text{Try s}}\right) \cdot (\dots) \cdot \left(\frac{\text{His p}}{\text{His s}}\right)}$$

gdzie: n — ilość aminokwasów uwzględnionych we wzorze (licząc pary np. Met + Cys jako jedność),

p — zawartość aminokwasu w danym białku,

s — zawartość aminokwasu w białku jaja.

W praktyce stosowane jest jeszcze pojęcia białka niepełno- i pełnowartościowego.

Wg Osborne'a i Mendel'a białkami pełnowartościowymi, są takie, które zawierają wszystkie niezbędne aminokwasy w stosunku niezbyt odbiegającym od zawartości optymalnych dla człowieka. Takimi białkami są białka zwierzęce (m. in. jaja, mleka). Białka częściowo niepełnowartościowe mogą zawierać nawet wszystkie niezbędne aminokwasy, ale niektóre z nich w niedostatecznej ilości, wskutek czego mogą służyć tylko do podtrzymania życia, ale nie do wzrostu organizmu. Białka niepełnowartościowe zawierają bardzo mało lub wcale jednego lub więcej z aminokwasów niezbędnych, same więc nie mogą nawet służyć do podtrzymania życia (Szczygieł, 1956).

Wynika z tego, że w organizmie nie ma zapotrzebowania na białko jako takie, ale na aminokwasy w nim zawarte. Bowiem fizjologiczna aktywność różnych białek organizmu żywego zależy od zawartości w pożywieniu w formie dostępnej egzogennych aminokwasów (Eggum, 1969).

Różne białka w pożywieniu mogą się nawzajem uzupełniać pod względem aminokwasowym pod warunkiem, że jedno z nich mają nadmiar tych aminokwasów, których w drugich jest niedobór. Pod tym kątem powinno być zestawione pożywienie roślinne.

Uzupełnienie niedoboru aminokwasów powinno mieć miejsce podczas jednego posiłku lub w niewielkim odstępie czasu, bowiem białko niepełnowartościowe ulega w organizmie szybkiemu spaleni (Szczygieł, 1956).

Białka pszenicy i żyta

Najlepiej poznane jest białko pszenicy. Tzw. klasyczny pogląd na budowę białek pszenicy dał Osborne (Jankowski, 1967). Jest on uznawany w dużej części do dziś. Stwierdził on, że białko bielma pszenicy składa się w 80% z dającego się wyodrębnić przez wymycie wodą innych skład-

ników tzw. „glutenu” oraz z frakcji albuminowej rozpuszczalnej w wodzie, globulinowej rozpuszczalnej w roztworze chlorku sodu oraz tzw. proteoz. W białku zarodka Osborne stwierdził występowanie nukleoproteidów. Gluten według Osborne'a nie jest białkiem jednolitym, lecz składa się z rozpuszczalnej w rozcieńczonym alkoholu gliadyny oraz rozpuszczalnej w rozcieńczonych kwasach i zasadach gluteniny, występujących w mniej więcej jednakowych ilościach. Lontie i współpracownicy (1954) wyodrębnili w glutenie za pomocą metod elektroforetycznych trzy główne i dwie mniejsze frakcje. Niektóre frakcje białkowe, zwłaszcza albuminowe wykazywały dużą aktywność enzymatyczną. Potwierdzili to swymi badaniami Proskuriakow i Chromowa (1956), którzy wydzielili różne frakcje albumin za pomocą roztworów acetonu w wodzie o różnych stężeniach. Niektóre z nich wykazały właściwości enzymatyczne amylaz i fitaz, w słabszym stopniu polifenyllooksydaz.

Moran (1954) wykazał, że β — globulina spełnia rolę lipooksydazy. Może więc wywierać znaczny wpływ na fizyczne własności glutenu.

Badania powyższe wyjaśniły częściowo wpływ poszczególnych frakcji białek na wartość wypiekową mąki. Brak wpływu stosunku gliadyny do gluteniny na wartość wypiekową mąki stwierdził Kizima (1944). Mają na nic wpływ tylko fizyczne właściwości glutenu. Dodatnią korelację między zawartością białek rozpuszczalnych w wodzie, a wartością wypiekową mąki wykazał Pence i współpracownicy (1956). Im większa była w mące pszennej zawartość albumin, tym jakość pieczywa była wyższa.

Zawartość poszczególnych składników białka pszenicy i żyta według Osborne'a podano w tabeli 6.

Tabela 6

Zawartość poszczególnych składników białka w ziarniakach pszenicy i żyta wg Osborne'a w procentach
(Jankowski, 1967)

Wyszczególnienie	Pszenica	Żyto
Albumina	0,4	0,43
Globulina	0,7	1,76
Gliadyna	4,0	4,00
Glutenina	4,0	2,44
Proteozy	0,3	—

Gliadyna i glutenina, składniki białkowe ziarna zbóż, mają szczególne znaczenie dzięki swoistym właściwościom umożliwiającym tworzenie ciasta z mąki pszennej. Przejście tych składników białka ze stanu odwodnionego w mące w stan uwodniony, czyli w gluten, jest istotą powstawania ciasta pszennego.

Gliadyna i glutenina, występujące w życie w odmiennej niż w pszenicy

Zawartość aminokwasów w ziarniakach zbóż w gramach

Aminokwas	Ż y t o						P s z e n i c a				
	odmiany			gliadyna	całe ziarno		odmiany				
	Dań- kow- skie sel.	Wło- sza- now- skie	Roga- liń- kie				Ła- giew- nicka	Odin	Na- grado- wicki	Zdzis- ławka	Przo- dow- nica
	całe ziarno wg Janickiego 1967			wg Jan- kow- skiego 1967	wg Szczy- gła 1956	wg FAO	całe ziarno wg Janickiego 1967				
Lizyna	4,37	3,94	4,09	1,00	3,3	3,39	3,02	2,87	2,80	2,79	2,66
Treonina	3,60	2,99	3,07	—	3,9	3,34	2,84	2,67	2,56	2,60	2,46
Metionina	1,79	1,76	1,73	—	1,1	1,46	1,46	1,61	1,56	1,44	1,41
Fenylalana- nina	2,71	3,68	3,34	2,7	3,0	4,42	3,71	3,74	4,12	3,99	4,10
Tryptofan	—	1,00	0,95	—	1,3	—	1,11	1,13	1,14	1,04	1,06
Arginina	5,59	—	5,55	2,22	5,4	4,58	4,66	4,89	4,90	4,52	4,17
Histydyna	2,54	2,25	2,46	0,39	2,2	2,21	—	2,29	2,39	2,33	—
Walina	4,50	4,53	4,39	—	4,3	4,75	4,19	4,37	4,00	4,09	4,05
Izoleucyna	3,34	3,58	3,24	6,30	4,0	3,40	3,55	3,36	2,98	4,09	3,23
Leucyna	6,09	6,40	5,85	—	6,2	6,16	6,73	6,51	6,30	6,13	6,35
Alanina	4,80	4,35	4,25	1,33	—	4,26	3,83	3,71	3,49	3,36	3,21
Cystyna	—	—	—	—	—	1,80	1,43	1,46	—	1,53	1,55
Glicyna	4,76	4,36	4,25	0,13	—	4,34	4,02	4,00	3,95	3,85	3,77
Kwas aspa- raginowy	7,13	6,82	7,46	0,25	—	7,15	5,41	5,39	5,14	5,20	5,24
Kwas gluta- minowy	20,9	22,3	21,8	33,81	—	24,18	27,0	27,7	28,0	28,2	28,0
Prolina	7,96	9,17	8,66	9,82	—	9,38	8,66	9,55	8,58	10,30	10,1
Seryna	4,45	3,68	4,01	0,06	—	4,32	3,94	4,00	4,02	3,93	3,71
Tyrozyna	—	1,41	1,43	1,19	—	1,92	1,43	1,77	1,84	2,00	2,07

proporcji, glutenu z sobą nie tworzą. Różnią się one od składników pszenicznego glutenu i zawartościami niektórych aminokwasów i skręcalnością optyczną alkoholowych roztworów i innymi właściwościami.

Aminokwasem ograniczającym wartość odżywczą pszenicy jest w pierwszym rzędzie lizyna, a następnie izoleucyna (tabela 5) lub według Janickiego i wsp. (1967) metionina i lizyna. Dla żyta, zależnie od wielu

Tabela 7

aminokwasu na 16 gramów azotu wg różnych autorów

			Owies		Jęczmień		Ryż		Kukurydza			
gliadyna	glutena	całe ziarno	awemina	całe ziarno	hordeina	całe ziarno	glutena	całe ziarno	zeina	glutena	całe ziarno	
wg Jan-kowskiego 1967	wg Szczygła 1956	wg FAO	wg Koźminy i Kretowicza 1953	wg FAO	wg Koźminy i Kretowicza 1953	wg FAO	wg Koźminy i Kretowicza 1953	wg FAO	wg Koźminy i Kretowicza 1953		wg FAO	
0,6	1,9	3,7	2,86	5,0	3,71	—	3,46	0,86	3,80	—	2,9	2,67
3,0	—	3,3	2,93	—	3,30	—	3,31	—	3,90	—	—	3,60
2,3	—	2,5	1,50	—	1,68	—	1,66	—	2,32	—	—	1,92
2,5	2,0	5,1	4,51	3,2	5,01	5,03	5,14	2,0	5,15	1,7	5,03	4,85
0,9	1,8	1,2	—	—	—	1,60	—	—	—	—	1,60	0,60
3,2	4,7	5,4	4,61	8,3	6,29	0,90	4,72	1,60	8,26	1,60	7,1	4,19
2,1	1,8	2,1	2,29	2,3	2,10	0,70	2,11	0,81	2,50	3,0	0,7	2,72
3,0	1,0	4,3	4,42	1,8	5,10	1,40	5,04	—	5,50	—	1,4	4,85
6,0	6,0	4,0	3,26	15,0	3,78	7,00	3,58	14,3	3,81	6,2	7,0	3,68
		7,0	6,67		7,26		6,67		8,22			12,53
2,5	4,4	—	3,62	2,5	4,54	1,84	3,95	3,7	6,02	—	1,84	7,54
2,3	1,7	1,8	2,54	3,0	2,67	2,50	2,27	—	1,07	—	2,50	1,55
1,0	1,0	—	3,92	1,0	4,70	—	3,86	—	4,99	0,2	—	3,70
1,4	2,1	—	4,93	4,0	7,71	1,32	5,66	0,4	10,26	0,6	1,32	6,27
46,0	27,2	—	29,86	18,4	20,94	45,20	25,61	14,5	20,59	12,7	45,20	18,94
13,2	4,4	—	9,94	5,4	5,18	13,73	9,71	3,3	4,69	5,0	13,73	8,94
0,1	0,7	—	4,59	—	4,70	—	4,05	—	5,42	—	—	4,98
3,1	5,1	4,0	2,99	1,5	3,30	1,67	3,10	0,5	3,49	3,8	1,67	4,82

czynników, jak odmiana, rejon klimatyczny, itp. aminokwasami ograniczającymi są wg Kurzepy i współpracowników (1960) w równym stopniu tryptofan i metionina, a według Janickiego i współpracowników (1967) metionina i izoleucyna.

Zbyt mała ilość wyżej wymienionych aminokwasów w ziarniakach pszenicy i żyta sprawia, że białka tych zbóż są niepełnowartościowe z punktu widzenia żywieniowego i nie dorównują pod tym względem białkom zwierzęcym.

W tabeli 7 zebrano w celu porównania dane dotyczące zawartości aminokwasów białkowych w ziarniakach różnych zbóż według różnych autorów.

Łatwo można zaobserwować, że analizy różnych odmian, przeprowadzone różnymi metodami analitycznymi, nawet tego samego gatunku zboża, doprowadziły do powstania dość dużych rozbieżności w wynikach.

Według Janickiego i współpr. (1967) różnice między odmianami pszenicy i żyta w zawartości aminokwasów w jednym rejonie klimatycznym dochodzą do 10%. Wielu badaczy stwierdziło, że istnieje zależność pomiędzy ogólną zawartością białka w ziarniakach zbóż, a zawartością w nim niektórych aminokwasów. I tak Lawrence i współpr. (1958) stwierdzili odwrotną zależność między zawartością białka a zawartością lizyny w pszenicach o zawartości białka poniżej 13,5%. Potwierdził to wynikami swych badań McDermott i współpr. (1960).

Podobną, ujemną korelację między zawartością tryptofanu, waliny, izoleucyny a zawartością białka w ziarniakach kukurydzy stwierdził Bressani i wsp. (1960). Zdaniem Dumanovića i wsp. (1969) najwyższą zawartość lizyny w ziarniakach kukurydzy uzyskuje się przy średniej zawartości białka.

Janicki i wsp. (1967) stwierdzili, że ziarniaki odmian pszenicy o wyższej zawartości białka zawierały na 100 g suchej substancji więcej aminokwasów egzogennych niż ziarniaki odmian niskobiałkowych. Bowiem zawartość białka w ziarniakach wzrastała proporcjonalnie szybciej niż obniżała się zawartość takich aminokwasów egzogennych jak lizyny, metioniny, treoniny i leucyny.

Badania Johnsona i wsp. (1969) oraz wyżej wymienionych napawają nas nadzieją, że ponieważ zawartość aminokwasów ograniczających w wielu wypadkach jest uzależniona od określonych procesów w hodowli, możliwe będzie poprzez odpowiednią selekcję i operacje agrotechniczne wyhodowanie odmian zboża o wysokiej wartości biologicznej białka. Będzie się z tym wiązało wiele problemów, na jeden z których natrafił w swych pracach Pawłow (1967). Stwierdził między innymi, że nawożenie azotowe tuż przed kwitnieniem pszenic powoduje znaczny przyrost zawartości białka w ziarniakach, ale nie daje to spodziewanego wzrostu wartości biologicznej białka, bowiem przyrost substancji azotowych dotyczy głównie frakcji gliadynowej o niskiej zawartości wielu aminokwasów egzogennych. Spowodowało to równocześnie osłabienie glutenu, a więc obniżenie wartości wypiekowej mąki.

Porównując białko pszenicy i żyta stwierdzono, że wartość odżywcza białka żyta jest wyższa niż pszenicy (Janicki, 1967). Potwierdza to wyprowadzony na podstawie wyników metod biologicznych współczynnik BV¹⁾ Thomas-Mitchella (Eggum 1969), który dla żyta wynosi 71,7 a pszenicy tylko 59,0. Zdaniem Kurzepy i wsp. (1960), na podstawie składów aminokwasowych trzeba stwierdzić, że wartość biologiczna i mąk żytnich i pszennych jest mniej więcej tak samo niska.

Podobna sytuacja panuje wśród większości białek roślinnych. Staje się więc jasne obserwowane szczególnie w ostatnich latach wzmożenie zainteresowań problemami dotyczącymi krzyżówek genetycznych, selekcji i problemami warunków hodowli mającymi na celu uzyskanie odmian roślin o optymalnej zawartości aminokwasów egzogennych, o wysokiej zawartości białka i odpowiednich właściwościach technologicznych. Pierwsze osiągnięcie w tym zakresie miało miejsce w USA w 1964 roku, gdzie Nelson i Hertz z Uniwersytetu im. Purdue odkryli, że znane od 30 lat geny opaque-2 i floury-2 związane są z zawartością lizyny i tryptofanu. Odmiany kukurydzy bogate w białko zawierają w bielmie ok. 20% białek, w tym tylko 1,3 g lizyny na 100 g białka. Poprzez krzyżowanie z genem opaque-2 uzyskano odmiany kukurydzy o mniejszej nieco zawartości białka, bo 17,4%, ale zawierające w każdym 100 g białka aż

¹⁾ BV z angielskiego Biological Value.

3,6 g lizyny. Krzyżówki z genem floury-2 dały odmiany o zawartości 13,6% białka i po 3,3 g lizyny na 100 g białka (Johnson 1968). Plony uzyskiwanych nowych odmian nieco spadły w porównaniu z klasycznymi, lecz uczeni uważają, że uda się poprzez różne zabiegi hodowlane otrzymać mieszańce bogate w białko, aminokwasy ograniczające i dające jednocześnie wysokie plony (Johnson i współprac. 1968).

Również na Uniwersytecie im. Purdue w 1965 roku rozpoczęto badania nad zawartością i składem białek w sorgu, uzyskując zachęcające wyniki, co ma szczególnie duże znaczenie dla ludów pasa równikowego uprawiających głównie tę roślinę.

Na Uniwersytecie w Nebraska od 1956 roku prowadzone są prace mające na celu przeanalizowanie pod względem zawartości białka i aminokwasów 16 000 odmian pszenicy. W trakcie badań znaleziono odmiany zawierające nawet po 24% białka, jak np. Atlas 66. Mieszańce tej odmiany z innymi powszechnie uprawianymi w USA odmianami dawały w drugim pokoleniu rośliny zawierające w ziarniakach od 14 do 20% białek. Zazwyczaj jednak wraz ze wzrostem zawartości białek spadały plony z hektara, chociaż niektóre linie dawały wysokie plony i zawierały dość dużo białka. Badania przeprowadzone nad pszenicami wykazały, że w wielu wypadkach wysoka zawartość lizyny, metioniny czy treoniny może iść w parze z ogólną zawartością białka. Przykładowo odmiana Comanche zawiera około 15% białka oraz, w stosunku do zawartości białka, 3,23% lizyny, 1,67% metioniny, 3,54% treoniny (Johnson 1968). Obecnie planuje się dalsze badania nad zawartością i stabilnością zawartości białek i aminokwasów egzogennych w ziarniakach pszenicy w zależności od zmian środowiska.

Do chwili obecnej żytu poświęcono stosunkowo mało uwagi prawdopodobnie na skutek tego, że jego produkcja stanowi w skali światowej tylko niecałe 3% ogólnej produkcji zbóż. Jest ono jednak jako zboże chlebowe najlepiej przystosowane do naszych polskich warunków klimatycznych i glebowych i posiada nieco większą wartość biologiczną białka niż pszenica, z tych więc powodów musi się ono stać przedmiotem większego zainteresowania ze strony genetyków, biochemików i hodowców.

LITERATURA

1. Bogdanowicz J. i współpr.: Fizjologia rozwoju dziecka. PZWL Warszawa 1968, 160—168.
2. Bressani R., L. G. Elias, N. S. Scrimshaw, M. A. Guzman: Cereal Chem. 1962, 39, 1, 59.
3. McDermott E. E., I. Pace: Sci. Food Agric. 1960, 11, 109.
4. Duńanowic J., M. Denić: Variation and heritability of lysin content in maize, Int. Atom. Energy Agency, Vienne 1969, 109—116.
5. Eggum B. O.: Evaluation of protein quality and the development of screening techniques. Int. Atom. Energy Agency, Vienne, 1969, 125—135.
6. Janicki J.: Referaty Międzynarodowej Konferencji Żytniej, Poznań, 1965, 1.
7. Janicki J., J. Kowalczyk, I. Riewe: Skład aminokwasowy niektórych polskich odmian pszenicy i żyta. Roczn. Technol. Chemii Żywności, PWRL, 1967, 13, 5—16.
8. Jankowski S.: Zarys technologii zbóż i strączkowych jadalnych. PWN 1967, 2, 39—50.
9. Johnson V. A., P. J. Mattern, D. A. Whited, J. W. Schmidt: Breeding for high protein content and quality in wheat. Int. Atomic. Energy Agency, Vienne, 1969, 29—40.
10. Johnson V. A., J. W. Schmidt, P. J. Mattern: Cereal breeding for better protein impact. Economic Botany, 1968, 22, 1, 16—25.
11. Karlson P.: Zarys biochemii, PWN, 1967.
12. Kizima P. N.: Issledowanije proteinow pszenicy w swiazi z ocenкой kaczestwa. Inform. Biull. 1944, 3—4.
13. Koźmina N. P., W. Z. Kretowicz: Biochemia ziarna zbóż i jego przetworów. PWT, W-wa 1953.
14. Kurzepa H., J. Bartnik, T. Trzebska-Jeske, W. Morkowska: Wartość odżywcza żyta i jego przetworów, Roczn. PZH, 1960, 2, 11, 2, 81—101.
15. Lontie R., A. Crevecoeur, J. Dulcino: Chem. Abstr. 1954, 48, 10242.
16. Lawrence J. M., K. M. Day, E. Huey, B. Lee: Cereal Chem. 1958, 35, 3, 169.
17. N. N. Amino acid content of foods and biological data od proteins. Food Policy and Food Science Service, Nutr. Div. FAO, 1, 39—45.
81. Markowska T., J. Mazurek: Ocena wartości rodów hodowlanych pszenicy ozimej pod względem zawartości i jakości białka. Biul. Inst. Hod. Aklimat. Roślin, 1969, 5, 85—91.
19. Moran T.: Nat. Land. 1954, 174, 458.
Ref. Janicki J., E. Kamiński, Hod. Rośl. Aklimat. Nasien. 1960, 4, 5, 595.
20. Oser B. L.: J. Am. Diet. Assoc. 1951, 27, 396. Ref. Eggum B.O. Int. Atom. Energy Agency 1969, Vienne, 125—135.

21. Pawłow A. N.: Nakoplenije bielka w ziarnie pszenicy i kukuruzy. Izdatelstwo Nauka, Moskwa 1967.
22. Pence J. W.: Cereal Chem. 1953, 30, 328.
23. Pence J. W., D. K. Mecham, H. S. Olcott: Agricult. Food. Chem. 1956, 4, 712.
24. Proskuriakow N. J., E. S. Chromowa: Bioch. Ziarna, 1956, 3, 35—41.
25. Szyczygieł A.: Podstawy fizjologii żywienia, PZWL, 1956, 144—214.
26. Waisman H. A., G. R. Kerr: The Ped. Clin. of. North America, 1965, 12, 3.
27. Watson J. D.: Eeteiligung der Ribonukleinsäure an der Proteinbiosynthese, Agnew. Chemie. 1963, 75, 439.